



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE QUÍMICA**

**Ronaldo José da Rocha**

**POLÍMEROS FOTOCRÔMICOS – UMA PROPOSTA DE  
EXPERIMENTO DE QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Brasília – DF**

**1º/2014**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE QUÍMICA**

**Ronaldo José da Rocha**

**POLÍMEROS FOTOCRÔMICOS – UMA PROPOSTA DE  
EXPERIMENTO DE QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto de Química da Universidade de  
Brasília, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Licenciado em  
Química.*

**Orientadora: Patrícia Fernandes Lootens Machado**

**1º/2014**

*Dedico este trabalho aos meus pais cujo apoio e incentivo jamais terei condições de retribuir em sua plenitude.*

## ***AGRADECIMENTOS***

Agradeço a Deus por ter criado uma natureza maravilhosa a qual é um convite ao estudo por meio da Química. Agradeço a Ele por ter me sustentado e ter me dado forças nos momentos difíceis. Sem Ele nada seria possível. A Deus seja toda honra e toda a glória!

Agradeço aos meus pais por terem sempre buscado o melhor para mim, mesmo que isso significasse abrir mão do próprio conforto. Mais do que recursos financeiros, investiram o seu amor em mim. Obrigado pelo carinho e pela paciência mesmo em meus momentos de estresse e mau humor.

Sou especialmente grato à minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Fernandes Lootens Machado por ter acreditado em meu potencial e ter me conduzido e apoiado neste trabalho.

Agradeço a todos os meus professores, que me guiaram durante todos esses anos pelos saberes da Química. Em especial, agradeço aos meus professores de Ensino de Química, Prof. Dr. Wildson Luiz Pereira dos Santos, Prof. Dr. Ricardo Gauche, Prof. Dr. Roberto Ribeiro da Silva (Bob) e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Fernandes Lootens Machado que me estimularam a participar das discussões em sala, fazendo com que eu me sentisse valorizado. Mais do que conceitos químicos ou pedagógicos me ensinaram lições de humanidade, simplicidade e humildade.

Agradeço aos colegas que contribuíram com suas opiniões durante as aulas, enriquecendo o processo dialógico. Sem dúvida foram de grande valia para meu crescimento profissional e pessoal.

Agradeço aos funcionários da UnB, que contribuíram para a realização das atividades acadêmicas.

Por fim, quero expressar minha gratidão a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que este momento fosse real.

## *SUMÁRIO*

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>VII</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
1.1 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS .....	9
1.2 POLÍMEROS SINTÉTICOS .....	13
1.3 AS CORES DOS OBJETOS.....	14
1.4 POLÍMEROS FOTOCRÔMICOS .....	16
1.5 FILTROS SOLARES E A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.....	22
<b>PROPOSTA DIDÁTICA .....</b>	<b>33</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>37</b>

## ***RESUMO***

A utilização de experimentos é um aspecto crítico no Ensino de Ciências. A falta de compreensão da função das aulas práticas faz com que tais atividades não sejam adotadas de forma a estimular a reflexão sobre os fenômenos observados em um experimento. Porém, novas tendências colocam o professor como um problematizador estimulando, através da proposição de temas que guardam relação com o cotidiano do aluno, a reflexão e o diálogo em sala e orientando a formação dos conceitos científicos. Existe a necessidade de temáticas que possibilitem, através da montagem de experimentos simples, uma abordagem e discussão de conceitos químicos. Diante disso, este trabalho apresenta, na forma de uma proposta didática, a realização de um experimento utilizando polímeros aditivados com substâncias capazes de responder a estímulos óticos. A temática possibilita ao professor problematizar e, partindo da observação dos fenômenos e de um processo dialógico, promover a transição para um nível de conhecimento mais abstrato.

**Palavras-chave:** Experimentação; Ensino de Ciências; Fotocromismo; Polímeros.

## INTRODUÇÃO

No Ensino de Ciências o uso de atividades práticas é visto como algo extremamente desejável. Conforme Silva, Machado e Tunes (2010), a experimentação foi inserida em currículos escolares a partir do século XIX. Conforme esses autores, a consolidação dessas atividades práticas ocorreu na metade do século XX. Embora a importância da experimentação seja reconhecida por filósofos desde o século XVIII, ainda hoje é notório que grande parte dos professores e alunos apresenta uma visão distorcida e equivocada no que diz respeito à função de tais atividades. Muitas vezes o que se observa é um ativismo prático priorizando o fazer por fazer, o fazer para comprovar ou ainda o fazer para entreter, através de uma abordagem lúdica ou uma aula do tipo “Show da Química”.

Em muitas escolas, a prática experimental sequer ocorre. Muitos fatores são mencionados por professores com o intuito de justificar a ausência de atividades práticas. A falta de uma infraestrutura adequada nas escolas, a carga horária reduzida e o grande número de alunos por turma são, inegavelmente, fatores desmotivadores da realização da experimentação no ensino. Por outro lado, a formação do professor muitas vezes não fornece uma orientação pedagógica que valorize o desenvolvimento de atividades práticas, dinâmicas e reflexivas com os alunos, mas sim, uma visão tradicional do ensino focado no conteúdo. Isso faz com que, nas raras vezes que a atividade experimental ocorre, ela seja infrutífera. A experimentação não é explorada na sua potencialidade ou é supervalorizada como sendo capaz de promover uma aprendizagem automática.

Nesse sentido, a formação do professor tem um peso muito maior que a carência de recursos ou algum outro fator geralmente mencionado como obstáculo às aulas práticas. Um professor consciente da importância e da função da experimentação supera facilmente a escassez de recursos lançando mão, por exemplo, de experimentos simples realizados em sala de aula, utilizando materiais facilmente encontrados nas casas dos alunos. Por outro lado, a abundância de recursos não supre a carência metodológica de um professor.

Além de uma compreensão do papel das aulas práticas no Ensino de Ciências considerando suas potencialidades e limitações é necessária a abordagem de temas atuais, que guardem alguma relação com a vivência do aluno e que permitam ao professor orientar uma transposição do conhecimento do nível concreto e fenomenológico para o nível abstrato e teórico.

Então, este trabalho objetiva apresentar um texto que discuta acerca da experimentação no Ensino de Ciências fazendo um contraponto entre uma visão tradicional e equivocada e as novas abordagens propostas. Também é objetivo, propor a temática dos polímeros fotocrômicos como ponto de partida para apreensão de vários conceitos químicos por meio de um experimento conduzido de forma demonstrativa-investigativa.

Para isso, o texto foi dividido em dois capítulos. No primeiro, apresentamos uma revisão bibliográfica que aborda, num primeiro tópico, a experimentação no Ensino de Ciências de forma a expor as deficiências da visão tradicional e enfatizar uma metodologia mais atual, dinâmica e reflexiva. Outro tópico traz uma breve abordagem sobre os polímeros sintéticos, seguido de um tópico sobre as cores dos objetos e a luz visível. A discussão prossegue e, em seguida, apresentamos um tópico sobre polímeros fotocrômicos, enfatizando o papel da radiação ultravioleta em algumas reações foto-induzidas. Encerramos o primeiro capítulo com uma revisão sobre filtros solares e radiação ultravioleta.

Já no segundo capítulo, apresentamos uma proposta didática formulada com base na discussão realizada no capítulo inicial. Após propormos a atividade, a qual consiste num experimento demonstrativo-investigativo com a temática dos polímeros fotocrômicos, apresentamos as Considerações finais. A atividade experimental elaborada e testada como produto desse Trabalho de Final de Curso encontra-se no Apêndice, descrita como uma atividade demonstrativa-investigativa em um Plano de Aula.



## CAPÍTULO 1

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 1.1 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS

**A problemática das aulas práticas: de uma visão dogmática e tradicional a uma abordagem dinâmica e reflexiva.**

Ao longo dos anos construiu-se uma visão distorcida da relação teoria-prática. A aula prática tem sido utilizada para que os alunos comprovem a teoria estudada em sala. Conforme o entendimento de muitos professores, a experimentação serve para que o aluno “descubra a teoria na prática”. Tal compreensão desvaloriza a capacidade de apreensão do conhecimento por meio da observação de fenômenos e do confronto com ideias prévias. Nesse contexto, o professor deixa de exercer o papel de instigador no processo de ensino-aprendizagem uma vez que, ao invés de estimular a reflexão e a discussão sobre os fenômenos observados, fornece respostas prontas e definitivas. Conforme Silva, Machado e Tunes (2010),

(...) vemos que a atividade científica de experimentação não concretiza a teoria. Como toda experimentação, ao contrário, ela promove o afastamento do mundo concreto que o homem tem diante de si. Empregá-la como meio de motivar os alunos e facilitar sua aprendizagem pelo suposto fato de que permite concretizar a teoria seria, pois, um equívoco. Além disso, como atividade, ela possui uma finalidade em si mesma, a saber, permite, por sua estrutura e dinâmica, a formação e o desenvolvimento do pensamento analítico, teoricamente orientado. (p. 240).

Então, a visão distorcida da relação teoria-prática acaba induzindo o aluno a crer na ciência como algo definitivo e inquestionável. O ensino tradicional, dessa forma, tem produzido alunos apáticos que enxergam a ciência como algo sobre-humano, desvinculado do processo histórico e, portanto, distante de suas realidades ou, ainda

pior, algo inalcançável. O conhecimento científico acaba sendo visto como algo que não é construído através de um processo dialógico, mas algo que é descoberto por pouquíssimas pessoas geniais. Dessa forma, para o aluno, enquanto ‘pessoa comum’ estudar Ciências é desnecessário.

Segundo Hodson (1994), o tradicionalismo no ensino de Ciências é permeado por visões equivocadas no que diz respeito à função das aulas práticas. A crença de que a experimentação serve para motivar os alunos, por exemplo, esbarra no fato de que muitos deles gostam desse tipo de atividade apenas por terem uma maior liberdade para interagir com os colegas e com o professor. Tão pouco é correto afirmar que a função das aulas práticas é fazer com que o aluno adquira habilidades de laboratório, as quais, na maioria dos casos, não terão utilidade fora do contexto escolar. Isso porque a grande parte dos estudantes não escolhe a Ciência como profissão. Muitos alunos acabam não compreendendo a real importância da experimentação, considerando a montagem e execução do experimento como sendo a principal parte. Em prejuízo de seu desenvolvimento crítico, o aluno constitui-se num mero “seguidor de receita”.

Muitas vezes é atribuído à atividade experimental um valor maior do que ela possui. A experimentação é vista como promotora de uma aprendizagem automática, contribuindo por si só para a aquisição do conhecimento pelos alunos. Dessa forma, tem-se valorizado o ativismo, o “fazer por fazer” em detrimento de uma metodologia mais investigativa e reflexiva que ajudaria a compreensão da natureza da Ciência. O resultado é que os alunos não conseguem estabelecer uma relação entre conceitos abstratos e os fenômenos observados. Também, não conseguem extrapolar o que foi “aprendido” para outras situações.

O processo ensino-aprendizagem deve ser influenciado pelo professor que, ao pretender abordar um novo conceito, deve considerar as concepções prévias dos alunos. Isso porque a observação não é totalmente objetiva uma vez que cada aluno observa e interpreta um dado fenômeno de acordo com suas expectativas, conhecimentos prévios e circunstâncias. Sendo que existe uma subjetividade, não há como dissociar o processo ensino-aprendizagem do contexto do aluno. Um determinado conceito não será efetivamente aprendido se o aluno não conseguir estabelecer relações com seus conhecimentos e vivências, se o conceito não tiver significado para ele.

A atividade experimental no Ensino de Ciências deve estimular os alunos a desenvolverem suas potencialidades. O papel do professor deve ser o de um

problematizador que incentiva a exposição de ideias, a reflexão e, se necessário, reorienta o pensamento do aluno. Conforme Hodson (1994):

Os alunos deveriam ser estimulados a explorar suas opiniões, pondo a prova sua capacidade para a explicação. Se se demonstra que suas idéias não são adequadas, se lhes pode animar a que as modifiquem ou que produzam outras novas. (p. 306).

De acordo com Silva e Zanon (2000), ao professor cabe realizar a transição dos conhecimentos fenomenológicos, frutos da observação em laboratório ou de concepções prévias e vivências dos alunos, para o nível teórico. O aluno depende dessa intervenção uma vez que é incapaz de acessar diretamente aos modelos teóricos e linguagens próprios das ciências. A intervenção do professor se dá no sentido de articular, de maneira dinâmica e dialética, diferentes níveis de conhecimento: o fenomenológico (ou empírico); o teórico (ou de modelos); e o representacional (linguagem). Essa abordagem dinâmica leva ao rompimento do modelo tradicional de transmissão-recepção de conceitos. Assim, a realização de uma atividade experimental deve servir de apoio para uma problematização que, através da intervenção do professor estimulará uma reflexão, um confronto de ideias. Compartilhando do pensamento de Silva e Zanon (2000) é oportuno afirmar que:

(...) a experimentação pode ser uma estratégia de ensino que vincule dinamicamente a Ciência com vivências do aluno, na perspectiva que ela deixe de ser desconectada e distante, meros pacotes de conteúdos a serem reproduzidos, sem inserções/inter-relações efetivamente problematizadoras das formas de ver-lidar com situações, fatos e fenômenos, nas vivências de dentro e de fora da escola. (p.146).

Dessa forma, a experimentação no ensino se constitui numa ferramenta pela qual o professor estimula um diálogo entre as observações e as teorias. Partindo das observações acerca de um fenômeno, é possível testar se uma dada teoria é eficaz para explicá-lo; testar a capacidade de generalização da mesma. Se a teoria em questão for adequada para o fenômeno em questão, pode-se, também, testar a capacidade de previsão que ela apresenta, mudando algumas condições do experimento. Então, se observa se é possível fornecer explicações para os novos resultados, utilizando-se da mesma teoria. De modo que, o desenvolvimento de experimentos no ensino não tem por objetivo comprovar se uma teoria é verdadeira ou não.

Cabe ao professor, valendo-se das capacidades de generalização e previsão apresentadas pelas teorias, proporcionar um ambiente não de comprovação, mas de investigação. Além disso, a intervenção do professor deve contribuir para que haja uma

ruptura com o ativismo experimental, no sentido de ir muito além do “fazer por fazer”, desenvolvendo, conforme Silva, Machado e Tunes (2010), uma “relação constante entre o fazer e o pensar” (p. 235).

Considerando tendências atuais, esses autores propõem uma ampliação do conceito de atividade experimental, englobando não apenas as atividades desenvolvidas no laboratório, mas também, no jardim ou horta da escola, em espaços comerciais ou outros ambientes que fazem parte do cotidiano dos alunos. Ao sair da visão restrita de que atividade experimental é atividade desenvolvida em laboratório, é possível uma abordagem que contemple de maneira muito mais eficaz a interdisciplinaridade e a contextualização. Como exemplo de atividades que seguem tendências mais atuais, os autores apresentam as atividades demonstrativas-investigativas.

Nas atividades demonstrativas-investigativas, o professor atua inicialmente como um problematizador. Considerando o contexto, ele levanta uma questão que desperta a curiosidade e o interesse por parte dos alunos. Com a realização do experimento os alunos fazem a descrição dos fenômenos observados, contemplando o conhecimento químico no seu *nível macroscópico*. Deve-se estimular que os alunos formulem explicações sobre o que se observa. Em seguida, o professor introduz a *interpretação microscópica* dos fenômenos valendo-se de teorias científicas e, por meio de um processo dialógico, auxilia os alunos a reformularem suas ideias prévias, se necessário for. No nível microscópico o professor pode, de maneira oportuna, ressaltar o aspecto histórico da Ciência, mostrando o conhecimento científico como algo que foi construído e não como algo descoberto. Como uma síntese do que foi tratado, passa-se a *expressão representacional* onde se utiliza a linguagem própria da ciência, como fórmulas e equações. Finalmente, além de responder à questão levantada inicialmente, o professor deve destacar a interface CTSA – *Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente* – contribuindo para que o aluno reconheça a influência da Ciência na sua vida.

Ainda considerando as novas tendências conforme Silva, Machado e Tunes (2010), a avaliação da aprendizagem pode ser realizada verificando-se a capacidade do estudante em aplicar os conceitos abordados em situações análogas do seu cotidiano.

Lançando mão dessa visão mais atual do Ensino de Ciências, é importante a seleção de temas que possuam um grande potencial contextualizador e, ao mesmo tempo, nos permita a adoção de um enfoque CTSA. Abordar assuntos que estejam presentes na vida do estudante sob a ótica da Química sem dúvida contribui para que a aprendizagem de conceitos seja mais efetiva. Para Gonsalez (2013):

Sob essa ótica, a contextualização assume o papel de facilitador do ensino, na medida em que apresenta para o estudante um cenário cotidiano para conhecimentos científicos abstratos. Com base nesse ponto de vista, é mais eficiente compreender o desenvolvimento humano no contexto que se insere, do que procurar uma teoria geral que se aplique a todas as pessoas. (p.31)

Ainda conforme esta autora, a seleção de conteúdos para o Ensino de Ciências deve possibilitar a transição entre o conhecimento cotidiano e o científico. Ensinar Ciências partindo-se do cotidiano do estudante e utilizar teorias para explicar os fenômenos pode tornar a aprendizagem mais produtiva.

Dessa forma, a proposta desse trabalho escolheu o tema polímeros fotocrômicos. Os polímeros, dada sua presença massiva no cotidiano do aluno possibilitam que ele tenha despertado em si o interesse em discutir a respeito.

Com a possibilidade do emprego de aditivos em polímeros, como no caso das substâncias com propriedades fotocrômicas, as discussões abrangem diversos conceitos e tornam-se ainda mais interessantes.

## 1.2 POLÍMEROS SINTÉTICOS

Grande parte dos objetos que nos cercam foi produzida utilizando-se polímeros como plásticos, fibras e borrachas. A indústria automotiva, de embalagens, têxtil entre outras, dão uma pequena amostra do vasto campo de aplicação dos materiais poliméricos. Sem nos afastarmos da questão ambiental e dos impactos causados pelo desenvolvimento desses materiais, é inegável que os polímeros sintéticos contribuíram para que a sociedade alcançasse uma maior qualidade de vida. Diante disso, é interessante considerar algumas características peculiares desses materiais.

Conforme a definição fornecida por Mano (1985) tem-se que “São consideradas polímeros, as moléculas relativamente grandes, de pesos moleculares da ordem de  $10^3$  a  $10^6$ , em cuja estrutura se encontram, repetidas, unidades químicas simples conhecidas como *meros*” (p. 3).

Sobre isso, Canevarolo (2006) afirma que para ocorrer a formação de um polímero é necessário que moléculas pequenas, denominadas monômeros, se liguem entre si formando uma cadeia. Dessa forma, cada monômero deve ser capaz de ligar-se, no mínimo, a outros dois monômeros para que ocorra a polimerização. Conforme Mano (1985), quando um monômero possui uma funcionalidade igual a dois, ou seja, permite

o crescimento da cadeia por apenas dois pontos, o encadeamento ocorre de modo que as cadeias formadas sejam lineares com ou sem ramificações. Se um monômero, por meio de seus grupos funcionais, permitir reações por três ou mais pontos, ou seja, funcionalidade igual a três, então poderá ocorrer a formação de ligações cruzadas entre as cadeias, dando origem a polímeros reticulados. Segundo Canevarolo (2006), essas ligações cruzadas amarram as cadeias umas às outras impedindo seu livre deslizamento. Alguns polímeros apresentam uma baixa densidade de ligações cruzadas como, por exemplo, a borracha vulcanizada. Outros, termorrígidos, como o baquelite e a resina epóxi, apresentam uma densidade elevada dessas ligações, a ponto de não terem seu estado físico alterado pelo aquecimento.

A formação de cadeias longas, com ou sem a formação de ligações cruzadas, faz com que os polímeros apresentem características como, por exemplo, flexibilidade ou rigidez, necessárias às aplicações industriais. As propriedades de um polímero dependem da natureza química dos monômeros, do peso molecular e da estrutura macromolecular do polímero. Considerando uma cadeia linear com ramificações, tem-se que estas atuam atrapalhando a aproximação entre as cadeias e a interação entre elas. Como consequência, o polímero apresentará uma flexibilidade relativamente boa.

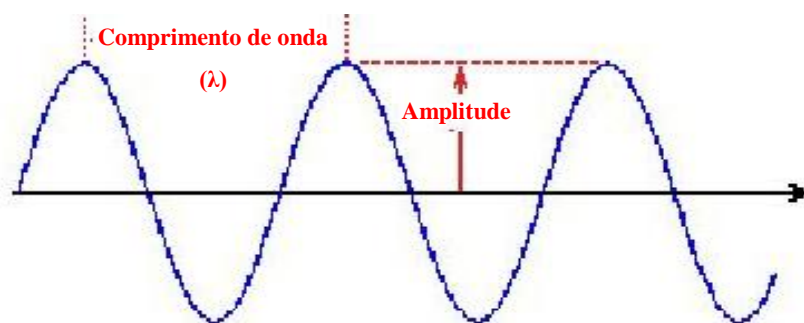
A imensa variedade de monômeros somada ao desenvolvimento de métodos de preparação e ao uso de aditivos possibilita a obtenção de polímeros com as mais diversas propriedades, ampliando a área de aplicação desses materiais. Como exemplo, podemos citar os polímeros fotocromáticos que são objeto de interesse deste trabalho.

### 1.3 AS CORES DOS OBJETOS

Uma propriedade de grande interesse, não apenas de polímeros, mas também de diversas substâncias e materiais, é a cor. Alguns compostos podem ser distinguidos por apresentarem cores diferentes uns dos outros. Convém perguntar: qual a origem da cor de um objeto? Para responder a essa pergunta é necessária uma compreensão acerca da luz visível.

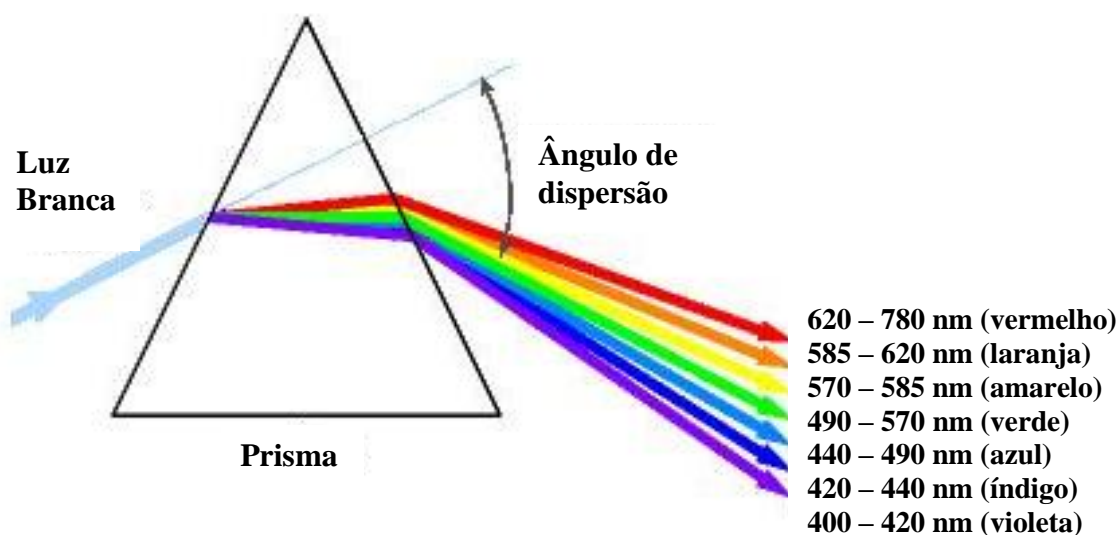
Conforme Reusch (2014), a luz solar, como a enxergamos, também é conhecida como luz branca, por ser uniforme quanto à sua cor. A luz pode ser tratada como um fenômeno ondulatório. Tal fenômeno pode ser caracterizado pelo comprimento de onda ( $\lambda$ ), o qual é definido como a distância entre picos ou vales

adjacentes em uma onda. O comprimento de onda, representado na figura 1.3.1, tem unidade de distância, sendo comumente expresso em nanômetros ( $10^{-9}$  metros).



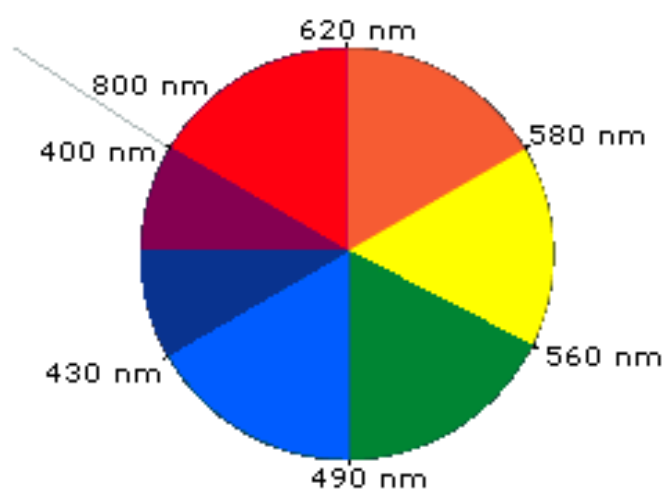
**Figura 1.3.1** - Comprimento de onda – *Adaptado de Reusch (2014).*

A luz solar, segundo o autor, é uma composição de radiações eletromagnéticas de diferentes comprimentos de onda na região do visível, além de radiação ultravioleta (UV) e infravermelho (IR). A luz visível pode ser decomposta, ou separada, em diferentes faixas de comprimentos de onda ao atravessar um prisma. Os comprimentos de onda que compõem a luz visível variam de 400 nm a 800 nm aproximadamente. Conforme representado na figura 1.3.2, cada faixa de comprimentos de onda corresponde a uma faixa de cor.



**Figura 1.3.2** – Decomposição da luz branca em faixas de comprimento de onda – *Adaptado de Reusch (2014).*

Ainda conforme Reusch (2014), quando a luz branca é incidida sobre um objeto, parte da mistura de comprimentos de onda é absorvida. A porção não absorvida assumirá uma cor complementar aos comprimentos de onda absorvidos. O círculo cromático, figura 1.3.3, apresenta a relação de complementaridade entre as cores. As cores diametralmente opostas no círculo são ditas complementares. Exemplificando, se um objeto absorve uma porção de luz visível na região de 590 nm ele apresentará uma cor azul. Se a porção de luz absorvida for na região entre 500 – 520 nm, por exemplo, o objeto apresentará a cor vermelha. Se a absorção ocorrer entre 420 e 430 nm, o objeto será amarelo e assim por diante.



**Figura 1.3.3** – Círculo cromático – *Adaptado de Reusch (2014).*

#### 1.4 POLÍMEROS FOTOCRÔMICOS

Como mencionado anteriormente, a cor é uma propriedade de interesse de diversos materiais, inclusive materiais poliméricos.

Alguns materiais poliméricos têm sido utilizados como suportes para substâncias capazes de responder a estímulos óticos. Essas substâncias apresentam uma propriedade denominada fotocromismo na qual ocorre a mudança da cor sob influência da luz em um comprimento de onda definido (ERMAKOVA *et al.*, 1977).

Conforme Tomasulo *et al.* (2009), as mudanças fotoinduzidas de cor são resultado de alterações nas propriedades estereo-eletrônicas da substância que, passa de incolor para outra forma, a qual absorve radiação eletromagnética na região do visível, tornando-se, portanto, colorida. Segundo esses autores, os compostos fotocromicos



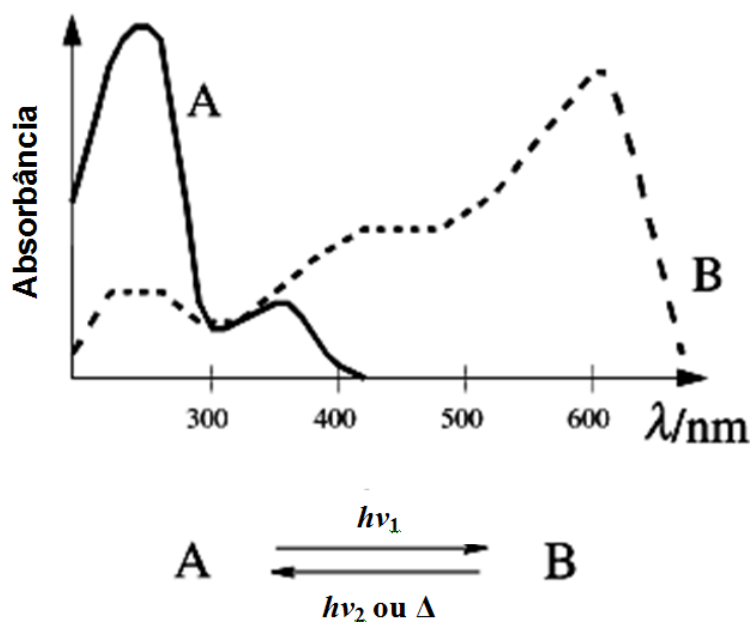
podem estar aprisionados na matriz polimérica ou ligados covalentemente à cadeia do polímero, podendo ser empregados, por exemplo, na produção de lentes oftálmicas.

Conforme Ichimura (2002), inúmeras aplicações de compostos fotocrômicos requerem que eles sejam suportados em filmes, folhas, fibras etc. Assim, a utilização de matrizes poliméricas tem sido de grande utilidade.

Esse autor menciona a importância da matriz, explicitando que ela pode afetar de vários modos o fotocromismo. Crano e Guglielmetti (1999) destacam que o meio ao qual o composto fotocrômico está incorporado pode: “(...) influenciar fortemente ou controlar a cinética da reação térmica reversa quando ela ocorre, a cor da espécie formada na reação fotoquímica direta, e outras propriedades do processo fotocrômico”. (p. 3).

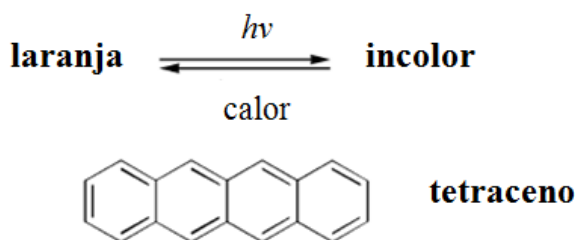
Bouas-Laurent e Dürr (2001, p. 642) afirmam formalmente que o fotocromismo “(...) é a transformação reversível de uma espécie química induzida em uma ou ambas as direções pela absorção de radiação eletromagnética entre duas formas, A e B, tendo diferentes espectros de absorção.”

A figura 1.4.1 apresenta uma reação química na qual uma substância A é transformada em uma substância B através da radiação eletromagnética. Conforme Bouas-Laurent; Dürr (2001), a reação reversa pode ocorrer termicamente (fotocromismo do tipo T) ou fotoquimicamente (fotocromismo do tipo P).



**Figura 1.4.1** - Transformação foto-induzida de uma substância A em uma substância B – Adaptado de Bouas-Laurent e Dürr (2001).

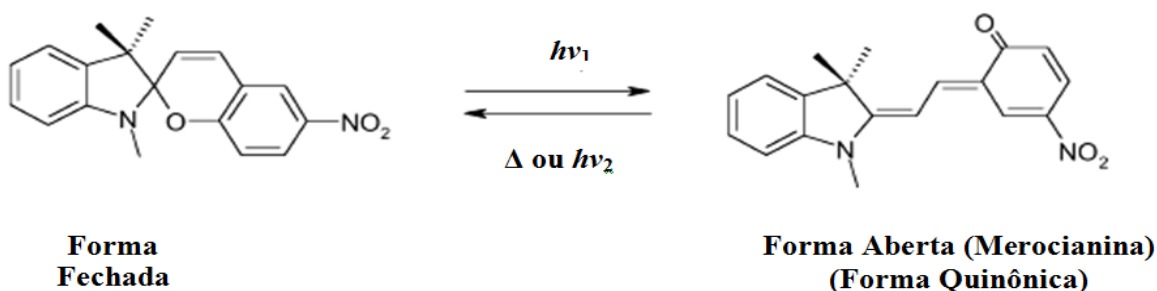
Conforme esses autores, o primeiro trabalho sobre compostos fotocrômicos que se tem notícia foi desenvolvido por Fritzsche (1867). Investigando hidrocarbonetos presentes em alcatrão de carvão, esse cientista observou a existência de cinco corpos distintos. Tratando esses corpos com ácido nítrico foram observadas diferentes colorações. O primeiro corpo apresentou uma cor roxo-avermelhada; já o segundo, uma cor azul-arroxeadada muito escura; o terceiro, por sua vez, apresentou cor verde escura; O quarto corpo, uma cor laranja; Em relação ao quinto corpo, Fritzsche não mencionou especificamente uma cor, mas mostrou-se certo de que apresentava uma coloração mais escura que a do primeiro corpo. Observou-se que a solução saturada do primeiro corpo, quando exposta a luz solar direta, formava um precipitado incolor. Quando aquecido a uma temperatura suficiente para derretê-lo, o primeiro corpo era restaurado. Atualmente, tal corpo investigado por Fritzsche é denominado tetraceno, conforme a figura 1.4.2



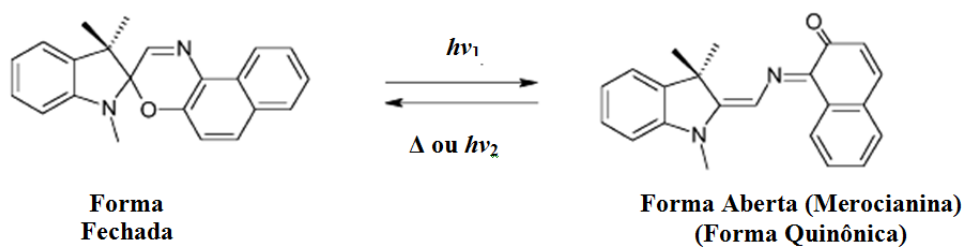
**Figura 1.4.2** - Conversão reversível do tetraceno a uma forma incolor – *Adaptado de Bouas-Laurent e Dürr (2001).*

Com o passar dos anos, diversos compostos fotocrômicos foram estudados. Publicações como, por exemplo, Bouas-Laurent e Dürr (2001), agrupam esses compostos em famílias, de acordo com sua estrutura molecular. Alguns exemplos são apresentados na figura 1.4.3:

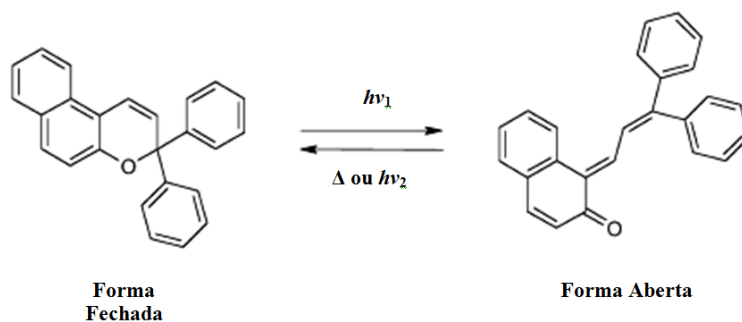
**a) Spiropyrans**



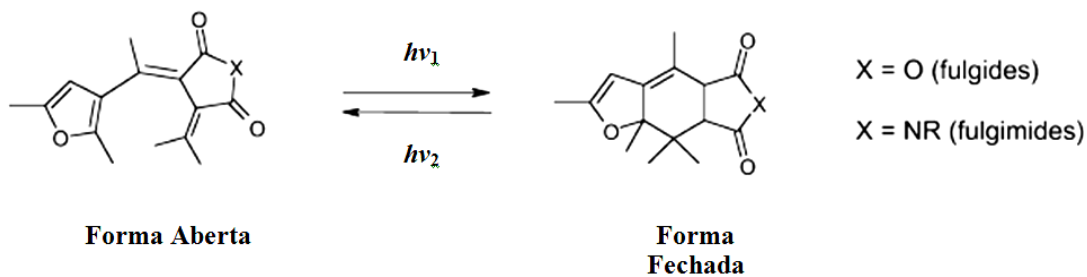
b) *Spirooxazines*



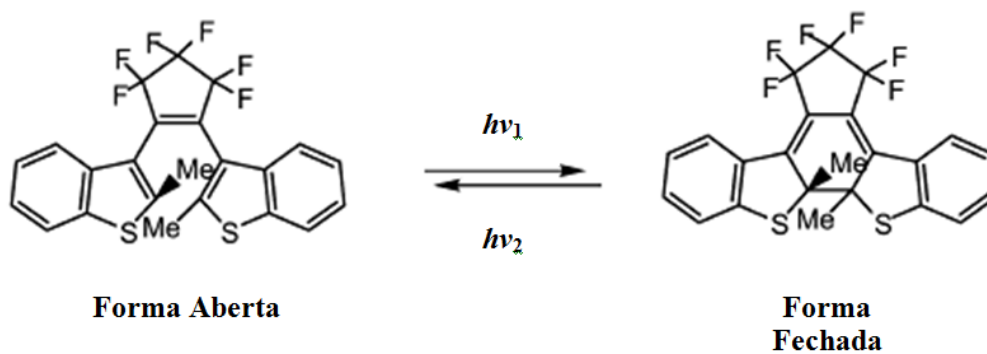
c) *Chromenes*



d) *Fulgides ou fulgimides*



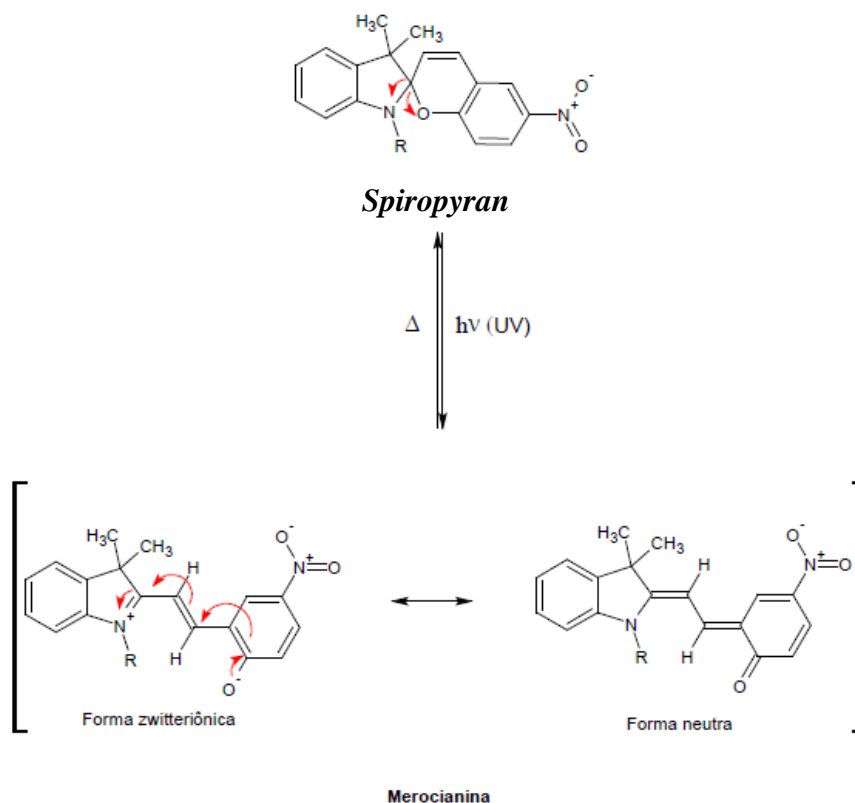
e) *Diarylethenes e compostos relacionados*



**Figuras 1.4.3a – 1.4.3e** - Algumas substâncias com propriedade fotocromica – *Adaptado de* Bouas-Laurent e Dürr (2001)

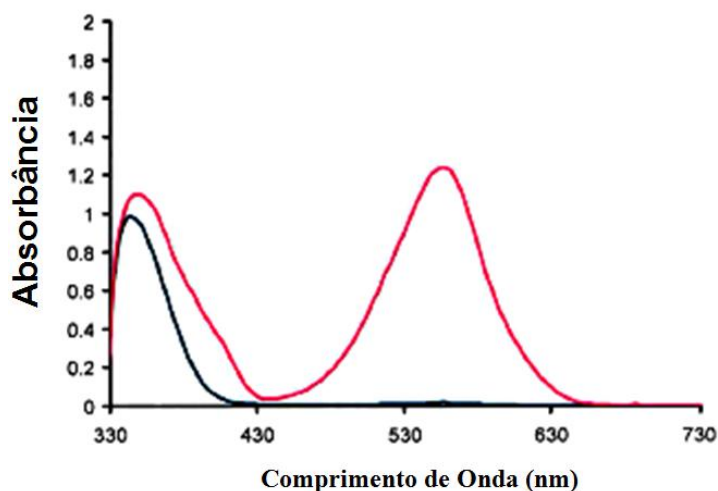
Conforme Crano e Guglielmetti (2002), a radiação de ativação utilizada nessas transformações foto-induzidas é geralmente, na faixa de 300-400nm (região do ultravioleta) ou mesmo na faixa de 400-700 nm (visível). Segundo os autores, a maioria dessas reações químicas ocorre de forma unimolecular ( $A \rightarrow B$ ). A reação reversa ( $B \rightarrow A$ ) ocorre predominantemente por mecanismo térmico nos sistemas com *spiopyrans*, *spirooxazines* e *chromenes*. Pode ocorrer a participação de uma reação foto-induzida, entretanto, o mecanismo térmico irá predominar. Outros sistemas, como *fulgides* e *arylethenes*, são estáveis termicamente e a reação reversa ( $B \rightarrow A$ ) é induzida por mecanismo fotoquímico.

Tomasulo e colaboradores (2009) comentam acerca de uma das famílias mais comuns de compostos fotocrômicos, os *spiopyrans*. Quando expostos à radiação ultravioleta, sofrem a quebra da ligação (C – O) no seu *spirocentro*. Em seguida, ocorre uma isomerização cis/trans de uma ligação (C = C) adjacente. A formação do isômero colorido (merocianina), da ordem de microssegundos, é resultado da contribuição das estruturas de ressonância (zwitterionica e neutra) apresentadas na figura 1.4.4. Já a reação reversa, ou seja, a regeneração térmica do isômero incolor é relativamente lenta, da ordem de milissegundos.



**Figura 1.4.4** - Mecanismo simplificado da reação foto-induzida de formação do isômero merocianina.

Conforme Byrne (2007), um *spiropyran* em solução absorve radiação UV na faixa de 200-400nm apresentando uma banda actínica situada próximo de 320-380nm. Por outro lado, o isômero merocianina absorve radiação na região do visível ( $\lambda_{\text{max}}$  em acetonitrila, 554nm). Conforme a figura 1.4.5:



**Figura 1.4.5** - Espectro UV-Vis do 2,3-dihidro-1',3',3'-trimetil-6-nitrospiro[1-benzopiran-2,2'-1H-indol] (azul) e isômero merocianina (rosa) – Adaptado de Byrne (2007).

Neste ponto, é importante considerar o que de fato ocorreu para que a nova espécie formada pela reação fotoquímica absorva radiação visível e, portanto, apresente cor.

Segundo Clayden *et al.* (2009; p.169), pode-se fornecer certa quantidade de energia para promover um elétron de um orbital molecular menos energético para outro mais energético. Portanto, é possível promover um elétron do HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) para o LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) de uma ligação dupla. Para ligações duplas isoladas a promoção de um elétron requer uma quantidade de energia elevada, sendo necessária a absorção de radiação com baixos valores de comprimento de onda como, por exemplo, radiação UV.

Por outro lado, se uma molécula apresentar, ao invés de ligações duplas isoladas, uma sequência de ligações duplas e simples de maneira alternada, tem-se uma rede de orbitais 'p', em que cada orbital pode sobrepor-se ao seu vizinho, gerando um efeito denominado conjugação. Ainda segundo Clayden *et al.* (2009), quanto maior a conjugação em uma molécula, menor será a energia necessária para realizar a transição entre HOMO e LUMO e, por consequência, a molécula absorverá radiação em comprimentos de onda maiores. Algumas moléculas apresentam uma conjugação de tal forma que a diferença de energia entre HOMO e LUMO torna-se pequena e a absorção se dá na região do visível.

Seguindo esse entendimento, observa-se que no caso da molécula de *spiropyran*, a reação foto-induzida deu origem a uma espécie a qual apresenta uma rede de ligações duplas conjugadas. Conforme apresentado anteriormente, essa nova molécula absorverá radiações com comprimento de onda maior, ou seja, na região do visível, visto que necessita de menos energia para a transição HOMO → LUMO do que a espécie que lhe deu origem.

Como fonte natural da radiação eletromagnética na região do visível, bem como radiação na região do ultravioleta, tem-se o sol. Portanto, é oportuno considerarmos algumas características da radiação solar.

## 1.5 FILTROS SOLARES E A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

O sol emite radiação eletromagnética de diferentes tipos (com comprimentos de onda diferentes). Conforme Costa e Silva (1995), os raios cósmicos, raios-x e

ultravioleta (em grande parte) emitidos pelo sol são absorvidos pela camada de ozônio. Então, quando chega à superfície da Terra, a radiação solar é composta basicamente por radiação infravermelha, visível e ultravioleta.

A radiação infravermelha, o que conhecemos como calor, possui um comprimento de onda acima de 780 nm. A radiação visível é a radiação eletromagnética que se encontra na faixa de 390 a 780 nm. A luz branca é a mistura de todos os comprimentos de onda da luz visível.

As diferentes fontes de literatura consultadas não são precisas quanto ao intervalo do espectro que corresponde à radiação ultravioleta. Seguindo o apresentado por Hollas (2004) considerar-se-á que a radiação ultravioleta engloba as radiações com comprimento de onda entre 10 e 390 nm. Entre 10 e 200 nm tem-se a região do ultravioleta de vácuo. A radiação entre 200 nm e 390 nm corresponde ao ultravioleta próximo, a qual pode ser subdividida em UVC (200 nm a 280 nm), UVB (280 nm a 315 nm) e UVA (315 nm a 390 nm). Conforme Silva (2010), a radiação ultravioleta mais energética é a, UVC. Os raios UVC são normalmente absorvidos pela camada de ozônio.

Os raios UVB, segundo Silva (2010), são responsáveis pela “transformação de substâncias presentes na derme em vitamina D” (p. 12). Grant e Garland (2006) mencionam que existe uma crescente compreensão que a deficiência de vitamina D está relacionada a um aumento do risco de câncer interno. Conforme os autores a radiação UVB e a vitamina D têm sido identificados como fatores de redução de risco para doze tipos de câncer. Também, a radiação UVB está relacionada à redução de taxas de mortalidade.

Dessa forma, pode-se dizer que a radiação UVB, através da produção da vitamina D, está relacionada a uma redução do risco de importantes tipos de câncer.

Grant e Garland (2006) relatam ainda outros benefícios da vitamina D. Conforme os autores existem fortes evidências que essa vitamina atua como fator de redução de risco para: fraturas decorrentes da osteoporose; esclerose múltipla; diabetes mellitus do tipo 1; miopatia e doença renal terminal. Também existem observações e indícios de que a vitamina D atue reduzindo o risco de artrite reumatoide, tuberculose e diabetes mellitus do tipo 2.

Por outro lado, a exposição à radiação UVB, conforme Silva (2010) pode provocar “eritemas leves, queimaduras solares, fotoenvelhecimento, lesões no DNA da célula, ou ainda suprimir a resposta imunológica da pele” (p. 12).

Por fim, a radiação do tipo UVA é responsável pelo bronzeamento da pele e a menos energética das radiações ultravioleta. Conforme Flor; Davolos; Correa (2007), a radiação UVA é o tipo de radiação UV mais abundante na superfície terrestre (cerca de 95%). Os raios UVB correspondem a apenas 5%. Como a radiação UV do tipo A é a menos energética das radiações UV ela possui um maior poder de penetração na pele, promovendo a pigmentação da pele, causando danos ao sistema vascular periférico e induzindo ao câncer de pele.

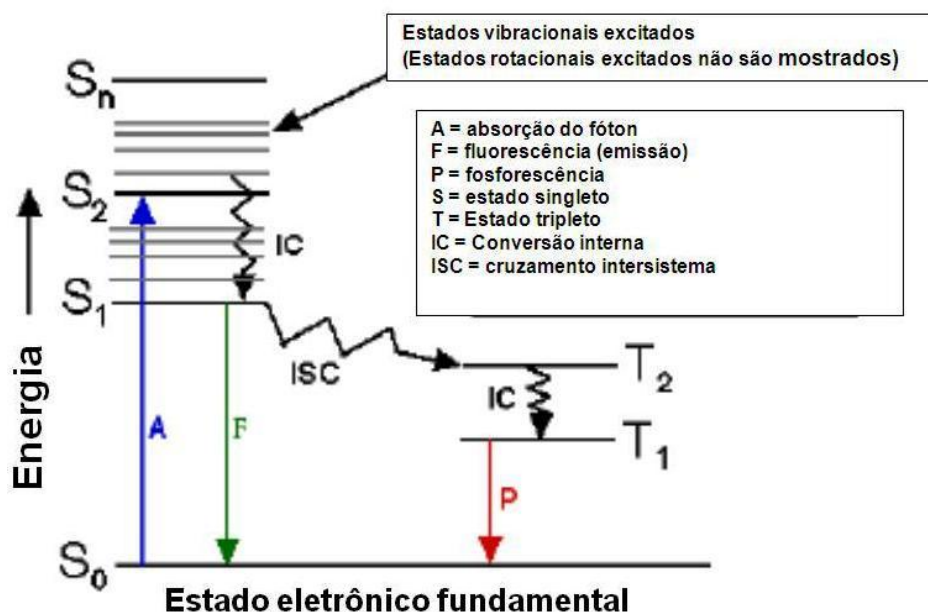
A radiação ultravioleta tem maior energia do que a radiação na região do visível. No entanto, deve-se ressaltar que os efeitos das radiações solares dependem do tipo de pele do indivíduo exposto, do tempo, da frequência e da intensidade da radiação. De acordo com Flor; Davolos; Correa (2007), tais condicionantes estão associados a fatores geográficos como altitude e latitude, estação do ano, período do dia, clima e também a aspectos ambientais, como os meteorológicos e a poluição. Estes autores ainda apontam que a elevada energia da radiação UV favorece a ocorrência de muitas reações fotoquímicas e que ela tem maior capacidade de permear a estrutura da pele, provocando fotoenvelhecimento.

Conforme Silva (2010), civilizações antigas como a egípcia, a grega e a romana já utilizavam alguns materiais com o objetivo de se protegerem da ação dos raios solares. Eram aplicadas sobre o corpo diversas misturas a base de mamona, extrato de magnólia, azeite de oliva e até mesmo areia. Porém, segundo o autor, somente no ano de 1944 foi desenvolvido o primeiro protetor solar realmente eficaz pelo farmacêutico americano Benjamin Greene. Era uma substância viscosa e vermelha derivada de petróleo que bloqueava fisicamente os raios solares. Posteriormente, passou-se a utilizar o óxido de zinco que, embora eficaz, era difícil de ser espalhado sobre a pele. Ainda, conforme o autor, na década de 1950, surgiram os filtros químicos que ao longo dos anos foram aperfeiçoados e resultaram nos protetores atuais.

De acordo com o mecanismo de atuação, os filtros solares podem ser classificados como filtros físicos ou químicos. Os filtros físicos atuam como uma barreira refletindo os raios UV. Como exemplo, tem-se o dióxido de titânio e o óxido de zinco. Como possuem óxidos metálicos, também são chamados de filtros inorgânicos. Já os filtros químicos são compostos orgânicos que absorvem a radiação UV transformando-a em outra forma de energia menos nociva ao organismo. Conforme Torres (2005), tal transformação ocorre da seguinte forma: a absorção de energia por uma molécula está relacionada com a possibilidade dos elétrons serem excitados,



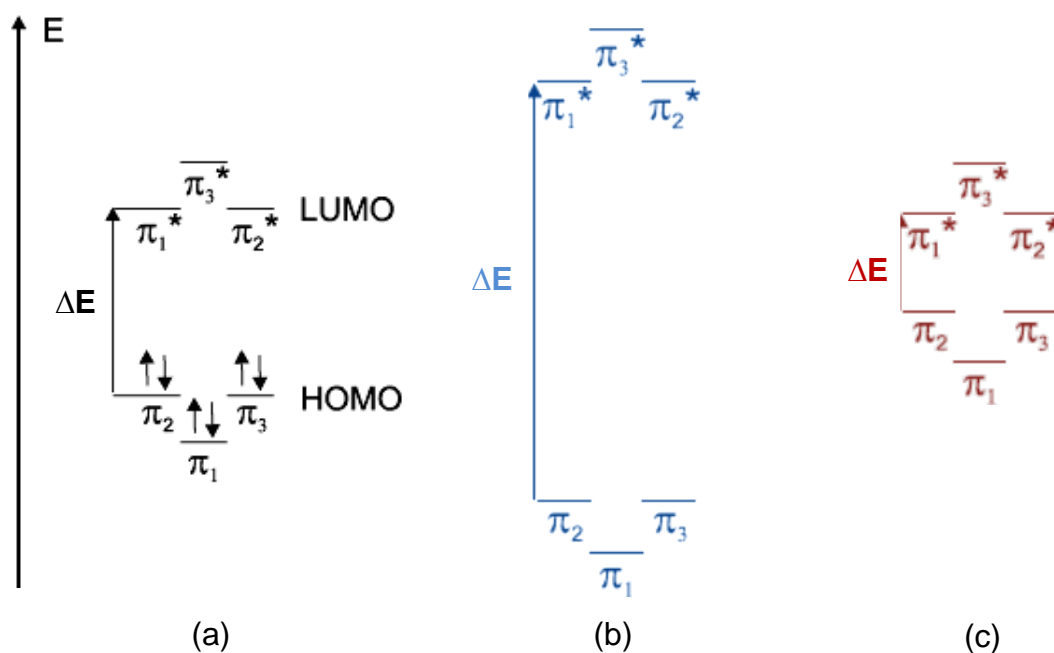
passando de um estado fundamental  $S_0$  para um orbital de maior energia  $S_n$  ( $n \geq 1$ ). O diagrama representando o processo de absorção de energia encontra-se apresentado na figura 1.5.1. Uma ligação dupla carbono-carbono absorve energia da ordem de 7 eV, promovendo um elétron de um orbital  $\pi$  ligante para um orbital antiligante  $\pi^*$  (com energia maior). Esta energia (7 eV) corresponde a um comprimento de onda de 180 nm (UV distante).



**Figura 1.5.1** – Diagrama parcial de níveis de energia. *Adaptado de Torres (2005).*

Ainda conforme Torres (2005), os filtros químicos são compostos por substâncias capazes de absorver energia na região do ultravioleta, convertendo-a em energia na região do infravermelho, ou ainda, na região do visível, como fluorescência ou fosforescência. As moléculas utilizadas nos protetores químicos, em sua maioria são compostos aromáticos conjugados com um grupo carboxílico e que possuem substituintes nas posições orto e para do anel aromático.

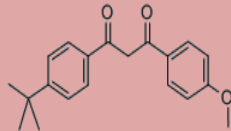
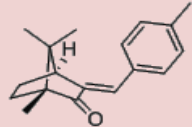
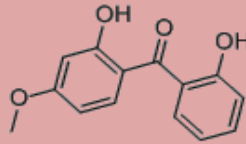
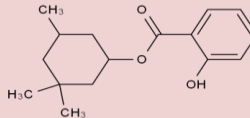
A faixa de energia na qual um filtro químico irá absorver dependerá dos substituintes presentes no anel. Um substituinte que atue como doador de elétrons contribuirá para a ressonância e, conseqüentemente para a estabilidade. Assim, a diferença de energia entre o HOMO (orbital molecular ocupado de maior energia), ligante, e o LUMO (orbital molecular desocupado de menor energia), antiligante, será maior que no benzeno não substituído. Dessa forma, a molécula absorverá energias maiores e radiação em menores comprimentos de onda (Fig. 1.5.2b).



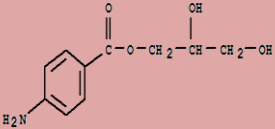
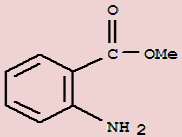
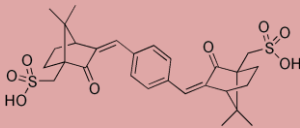
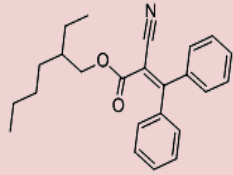
**Figura 1.5.2** – Diagramas de orbitais moleculares: (a) benzeno simplificado; (b) benzeno com alterações pela adição de grupos doadores de elétrons e (c) benzeno com alterações pela adição de receptores de elétrons. - Adaptado de Flor; Davolos; Correa (2007).

Por outro lado, um substituinte receptor de elétrons desestabiliza o anel diminuindo o efeito de ressonância. Nesse caso, a diferença de energia entre HOMO (ligante) e LUMO (antiligante) será menor que no benzeno não substituído. Então, a molécula absorverá energias menores e radiação com comprimento de onda maior (Fig. 1.5.2c).

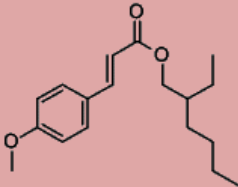
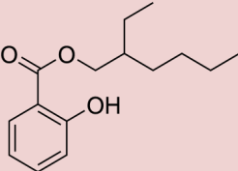
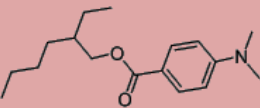
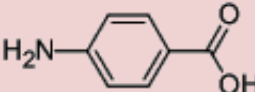
Flor; Davolos; Correa (2007) apresentam exemplos de substâncias utilizadas nos protetores solares com a função de filtros químicos. O ácido p-aminobenzóico (PABA) apresenta o grupo doador  $\text{NH}_2$  e o grupo receptor  $\text{COOH}$ , absorvendo radiação UV do tipo B. Já o OctildimetilPABA, ou ETHYLHEXYL DIMETHYL PABA, apresenta, como substituintes no anel grupo  $(\text{CH}_3)_2\text{N}$  e um grupo receptor  $\text{COOR}$ . Esse grupo receptor desestabiliza o anel o suficiente para que a diferença de energia necessária para a transição entre HOMO e LUMO seja menor e absorção ocorra em comprimentos de onda maiores que os absorvidos pelo PABA. Ainda, uma outra substância, a avobenzona, ou Butil Metoxi-dibenzoil-metano, apresenta apenas um grupo fortemente receptor de elétrons. Tal grupo, o  $\text{COCH}_2\text{COHAr}$ , desestabiliza o anel a ponto de a molécula absorver comprimentos de onda ainda maiores, na região do UVA. A tabela 1.5.1, a seguir, apresenta alguns filtros químicos e físicos e suas respectivas faixas de absorção:

INGREDIENTE	NOMENCLATURA INCI	CAS	FAIXA DE PROTEÇÃO (nm)	PROTEÇÃO UVA	PROTEÇÃO UVB	ESTRUTURA
AVOBENZONA	BUTYL METHOXYDIBENZOYLMETHANE	70356-09-1	400 - 320	SIM	NÃO	
4-METILBENZILIDENO CÂNFORA	4-METHYLBENZYLIDENE CAMPHOR	36861-47-9	300 - 290	NÃO	SIM	
DIOXIBENZONA	BENZOPHENONE-8	131-53-3	390 - 250	SIM	NÃO	
HOMOSALATO	HOMOSALATE	118-56-9	330 - 294	SIM	NÃO	

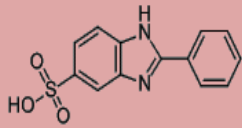
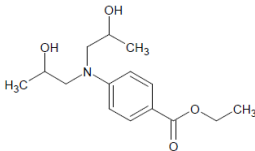
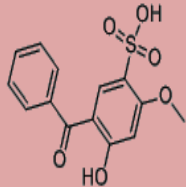
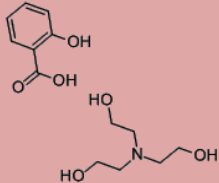
**Tabela 1.5.1** - Filtros químicos e físicos comumente usados em formulações de protetores solares. *Adaptado de Torres (2005). Continua*

INGREDIENTE	NOMENCLATURA INCI	CAS	FAIXA DE PROTEÇÃO (nm)	PROTEÇÃO UVA	PROTEÇÃO UVB	ESTRUTURA
LISADIMATO	GLYCERYL PABA	136-44-7	315 - 264	NÃO	SIM	
MENTHYL ANTHRANILATE	METHYL ANTHRANILATE	134-20-3	380 - 260	SIM	NÃO	
MEXORYL SX	TEREPHTHALYLIDENE DICAMPHOR SULFONIC ACID	92761-26-7	400 - 290	SIM	SIM	
OCTOCRILENO	OCTOCRYLENE	6197-30-4	360 - 350	NÃO	SIM	

**Tabela 1.5.1** - Filtros químicos e físicos comumente usados em formulações de protetores solares. *Adaptado de Torres (2005). Continua*

INGREDIENTE	NOMENCLATURA INCI	CAS	FAIXA DE PROTEÇÃO (nm)	PROTEÇÃO UVA	PROTEÇÃO UVB	ESTRUTURA
OCTILMETOXCINAMATO	ETHYLHEXYL METHOXYCINNAMATE	5466-77-3	320 - 290	NÃO	SIM	
OCTILSALICILATO	ETHYLHEXYL SALICYLATE	118-60-5	320 - 289	NÃO	SIM	
PADIMATE O	ETHYLHEXYL DIMETHYL PABA	21245-02-3	315 - 290	NÃO	SIM	
ÁCIDO P-AMINOENZÓICO	PABA	150-13-0	313 - 260	NÃO	SIM	

**Tabela 1.5.1** - Filtros químicos e físicos comumente usados em formulações de protetores solares. *Adaptado de Torres (2005). Continua*

INGREDIENTE	NOMENCLATURA INCI	CAS	FAIXA DE PROTEÇÃO (nm)	PROTEÇÃO UVA	PROTEÇÃO UVB	ESTRUTURA
FENILBENZIMIDAZOL	PHENYLBENZIMIDAZOLE SULFONIC ACID	27503-81-7	340 - 290	NÃO	SIM	
ROXADIMATO	ETHYL DIHYDROXYPROPYL PABA	58882-17-0	330 - 289	NÃO	SIM	
SULISOBENZONA (EUSOLEX 4360)	BENZOPHENONE-4	4065-45-6	375 - 260	SIM	NÃO	
DIÓXIDO DE TITÂNIO	TITANIUM DIOXIDE	13463-67-7	700 - 290	SIM	SIM	
SALICILATO DE TROLAMINA	TEA-SALICYLATE	2174-16-5	320 - 260	SIM	NÃO	
ÓXIDO DE ZINCO	ZINC OXIDE	1314-13-2	700 - 200	SIM	SIM	

**Tabela 1.5.1** - Filtros químicos e físicos comumente usados em formulações de protetores solares. *Adaptado de Torres (2005).*  
INCI – “International Nomenclature of the Cosmetic Ingredients”.

Da observação da tabela 1.5.1, nota-se que os filtros químicos absorvem apenas parte do espectro da radiação UV. As formulações disponíveis no mercado devem combinar diferentes filtros químicos a fim de alcançar uma ampla faixa de espectro. Filtros físicos, como o dióxido de titânio e óxido de zinco, são capazes de cobrir uma ampla faixa do espectro. Porém esses óxidos metálicos comprometem o fator estético, uma vez que deixam um aspecto esbranquiçado na pele.

Além disso, a eficiência de um protetor solar é mensurada pelo fator de proteção solar ou FPS. Segundo Flor; Davolos; Correa (2007), para o cálculo do FPS considera-se o tempo que uma pessoa poderá ficar exposta à radiação UVB sem que ocorra a formação de eritemas (*Dose Mínima Eritematosa – DME*). O valor do FPS é dado pela razão entre a DME para uma pele com proteção e a DME para uma pele sem proteção.

$$FPS = \frac{DME \text{ (pele com proteção)}}{DME \text{ (pele sem proteção)}}$$

Conforme exemplificado por Costa e Silva (1995), “um protetor com fator de proteção 10 significa que ele permite que se fique ao sol dez vezes mais tempo do que sem sua utilização, com o mesmo resultado” (p. 5).

Sem desconsiderar a proteção contra os raios UV, fornecida pelos filtros solares, uma discussão tem sido levantada na mídia. Alguns filtros químicos absorvem apenas na região do UVB, deixando a pele desprotegida contra os raios UVA. Tal fato não é surpreendente diante do que foi tratado até o momento neste trabalho. Porém, a polêmica maior reside na especulação que alguns filtros químicos poderiam ser absorvidos pela pele acarretando em alterações hormonais.

Janjua *et al.* (2004) estudaram três filtros químicos: benzofenona-3; octil metoxicinamato e 3-(4-metilbenzilideno) cânfora. Após a aplicação tópica, esses três filtros foram detectados no plasma e na urina dos voluntários. Os autores concluíram que existe uma significativa penetração na pele, absorção sistêmica, seguida de uma excreção urinária dessas substâncias. Ainda, os autores comentam que a “presença sistêmica desses três filtros solares, entretanto, não significa que haja alguma influência nos níveis de hormônios reprodutivos endógenos em homens jovens e mulheres na pós-menopausa”. (p. 58 tradução nossa).

Contudo, para Janjua *et al.* (2004) as crianças na fase da pré-puberdade, devido aos seus baixos níveis de hormônios reprodutivos endógenos, são mais sensíveis a

pequenos níveis de ação hormonal. Também, segundo aos autores os mecanismos de eliminação de drogas são menos desenvolvidos que em adultos, além de as crianças possuírem uma maior área superficial por peso corpóreo em relação aos indivíduos adultos, possibilitando uma maior absorção e bioacumulação. Desse modo, os autores consideram que havendo um estudo semelhante, realizado com crianças, existe a possibilidade de se observar efeitos adversos.



## **CAPÍTULO 2**

### **PROPOSTA DIDÁTICA**

Considerando-se o abordado no capítulo anterior, elaborou-se uma proposta de aula prática para o ensino médio inserindo a temática dos polímeros fotocrômicos. O experimento em si envolve mudança de cor apresentando, desse modo, um forte apelo visual. Porém, o fenômeno envolvido serve de base para uma série de discussões e a abordagem de diversos conceitos.

Esta proposta permite ao professor estimular a reflexão e trabalhar diversos conceitos químicos. Dentre os temas de possível abordagem estão: polímeros sintéticos; cores dos objetos; radiação UV e a pele; protetores solares; reações químicas; equilíbrio químico. A montagem do experimento é bastante simples, proporcionando um maior tempo para as discussões em sala.

A variedade de temas possíveis de serem trabalhados, somada à presença desses temas no dia-a-dia dos alunos, faz com que esta proposta de experimento tenha um grande potencial no que diz respeito ao enriquecimento do processo dialógico em sala de aula.

Com o intuito de afastar-se do “experimental para comprovar” e do “show da Química”, buscou-se contemplar a abordagem demonstrativa-investigativa proposta por Silva, Machado e Tunes (2010). A proposta é que se inicie a aula com uma problematização seguida da observação macroscópica, explicação microscópica e representação e, considerando-se a interface CTSA.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de abordagens demonstrativas-investigativas possibilita ao professor atuar como um problematizador fazendo relações entre os conceitos que deseja enfatizar e os conhecimentos prévios e vivências dos alunos. O aluno é levado a refletir sobre o que ele observa. Essa abordagem favorece a compreensão da Ciência como algo transitório, como um modo, proposto por seres humanos comuns, para se enxergar o mundo.

Embora um experimento apresente um apelo visual que atraia a atenção dos alunos num primeiro momento, cabe ao professor conduzir a discussão em sala fazendo as intervenções necessárias para que os alunos não se prendam ao nível fenomenológico, mas consigam realizar a transposição para o nível teórico e microscópico. Os alunos devem também, ser estimulados a construir explicações utilizando a linguagem própria da Ciência.

O experimento proposto é útil como ponto de partida para discussões diversas: fenômenos que evidenciam uma reação química; os polímeros e a utilização de aditivos; o espectro eletromagnético; a participação da radiação UV em reações químicas no organismo humano; o uso de filtros solares e seus benefícios e prejuízos. Considerando as características dos alunos, suas vivências e os conceitos que se deseja enfatizar, o professor poderá facilmente orientar as discussões fazendo as adaptações necessárias ao contexto.

## REFERÊNCIAS

- BOUAS-LAURENT, H.; DÜRR, H. Organic photochromism. **Pure Appl. Chem.** v.73, n.4, p.639-665, 2001 IUPAC.
- BYRNE, R. J. **Preparation and characterization of photo-, thermo-, and solvatochromic materials containing benzospiropyran.** Dublin, 2007. 254p. Tese de Doutorado - Dublin City University
- CANEVAROLO Jr, S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2. ed.** São Paulo: Artliber Editora, 2006. 280p.
- CLAYDEN, J.; GREEVES, N.; WARREN, S.; WOTHERS, P. **Organic Chemistry.** New York: Oxford University Press, 2009. 1512p.
- COSTA, M. L.; SILVA, R. R. Ataque à pele. **Química Nova na Escola**, n. 01, p. 3-7. 1995.
- CRANO, J. C.; GUGLIELMETTI, R. J. **Organic photochromic and thermochromic compounds. Volume 1.** New York: Springer, 1999. 378p.
- CRANO, J. C.; GUGLIELMETTI, R. J. **Organic photochromic and thermochromic compounds. Volume 2.** New York: Springer, 2002. 473p.
- ERMAKOVA, V. D.; ARSENOV, V. D.; CHERKASHIN, M. I.; KISILISTA, P. P. Photochromic polymers. **Russian Chemical Reviews.** v.46, n.2, p.145-157, 1977.
- FLOR, J.; DAVOLOS, M. R.; CORREA, M. A. Protetores Solares. **Química Nova.** v. 30. n. 1. p. 153-158. São Paulo, 2007. Disponível em:  
[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422007000100027&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422007000100027&script=sci_arttext)
- FRITZSCHE, J. **Compts Rendus Acad. Sci.** v.64, p.1035, 1867.
- GONSALEZ, M. S. **Cultivar o saber: o uso do tema social horta no ensino de Ciências.** Brasília, 2013. 179 f. (Dissertação) 60 p. (Módulo de Ensino). Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências – Instituto de Ciências Biológicas/Instituto de Física/Instituto de Química/Faculdade UnB Planaltina – Universidade de Brasília.
- GRANT, W. B.; GARLAND, C. F. The association of solar ultraviolet B (UVB) with reducing risk of cancer: multifactorial ecologic analysis of geographic variation in age-adjusted cancer mortality rates. **Anticancer Res.** 26 (4A), p. 2687-99, 2006.

HODSON, D. Hacia un enfoque mas crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, v.12, n.3, p.299-313, 1994.

HOLLAS, J. M. **Modern Spectroscopy**. 4ª ed. Wiley, 2004. 482p.  
[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422007000100027&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422007000100027&script=sci_arttext)

ICHIMURA, K. Photochromic polymers. In: CRANO, J. C.; GUGLIELMETTI, R. J. **Organic photochromic and thermochromic compounds. Volume 2**. New York: Springer, 2002. cap.1, p. 9-63.

JANJUA, N. R.; MOGENSEN, B; ANDERSSON, A-M.; PETERSEN, J. H.; HENRIKSEN, M.; SKAKKEBAEK, N. E.; WULF, H. C.'Systemic absorption of the sunscreens benzophenone-3, octyl-methoxycinnamate, and 3-(4-methyl-benzylidene) camphor after whole-body topical application and reproductive hormone levels in humans. **Journal of Investigative Dermatology**, v.123, no. 1, p.57-61, 2004.

MANO, E. B. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Edgard Blücher, 1985. 111p.

REUSCH, W. *UV – Visible Spectroscopy*. Disponível em:  
<http://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/spectrpy/uv-vis/spectrum.htm>  
Acesso em: 5 de maio de 2014.

RUSSELL, J. B. **Química Geral. vol. 2**. 2.ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 1268p.

SILVA, L. H. A.; ZANON, L. B. A experimentação no ensino de Ciências. In: SCHNETZLER, R. P.; ARAGÃO, R. M. R. **Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens**. Piracicaba: Capes/ UNIMEP, 2000. cap. 6, p.120-153.

SILVA, R. R.; MACHADO, P. F. L.; TUNES, E. Experimentar sem medo de errar. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Editora Unijuí, 2010. Cap. 9, p.231-261.

SILVA, S. C. F. **A inter-relação entre Química e Biologia nos protetores solares**. Brasília, 2010. 32p. Monografia de Graduação – Instituto de Química – Universidade de Brasília.

TOMASULO, M.; DENIZ, E.; BENELLI, T.; SORTINO, S.; RAYMO, F. M. Photochromic polymers based on the photoinduced opening and thermal closing of [1,3] oxazine rings. **Adv. Funct. Mater.** v.19, p.3956-3961, 2009.

TORRES, B. B. Bioquímica da beleza – Curso de verão. 2005. 150p. Apostila – Departamento de Bioquímica – Instituto de Química – Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.iq.usp.br/bayardo/bioqbeleza/bioqbeleza.pdf>

# **APÊNDICE**

## **Proposta de plano de aula prática de Ensino de Química**

## PLANO DE AULA PRÁTICA COM A TEMÁTICA DOS POLÍMEROS FOTOCRÔMICOS.

**1. Tema:** Polímeros

**2. Sub tema:** Polímeros fotocrômicos

**3. Conceitos que o professor pode enfocar:**

Reação química; equilíbrio químico; espectro eletromagnético; cor; filtros solares;

**4. Título:**

Porque alguns objetos tornam-se coloridos quando são expostos ao sol?

**5. Materiais:**



1. Luminária de mesa;

2. Lâmpada de luz negra;

3. Prendedores de cabelo que ficam coloridos ao sol;
4. Esponja para lavar pratos;
5. Caixa de preta de cartolina ou papel cartão;
6. Protetor solar FPS 15;
7. Protetor solar FPS 50;
8. Creme hidratante para o corpo.

## 6. Procedimentos

Com a luminária desligada, colocou-se a lâmpada de luz negra no bocal.

Desmontou-se um prendedor removendo o pino e a mola obtendo-se as duas metades.



O procedimento foi repetido com um segundo prendedor de modo a obter quatro partes plásticas. Em seguida, as quatro partes foram colocadas na caixa.



Ajustou-se a luminária aproximando-a dos prendedores e de modo que as laterais da caixa reduzam a saída de luz.



A luminária foi ligada por cerca de 20 segundos.





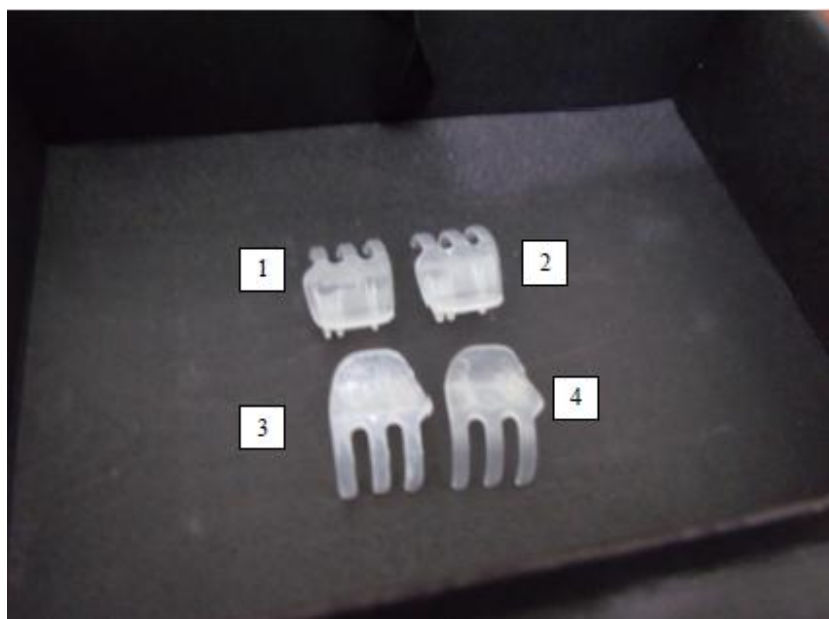
Em seguida, desligou-se a luminária e retirou-se a caixa com os prendedores observando a coloração de cada um.

Aguardou-se que as peças retornassem ao estado incolor e cada uma foi numerada (1 a 4). Então, procedeu-se da seguinte forma:

- A peça de nº 1 foi mantida na caixa e não recebeu a aplicação de nenhum produto (Amostra em branco);
- Com o auxílio de uma esponja espalhou-se sobre a peça de nº 2 uma fina camada de protetor solar com FPS 15;
- Já na peça de nº 3, espalhou-se, com uma esponja, uma fina camada de protetor solar FPS 50;
- Por fim, a peça de nº 4 recebeu uma fina camada de creme hidratante para o corpo.



As peças foram colocadas dentro da caixa, ajustou-se a luminária e acendeu-se a lâmpada.



### 7. Observação macroscópica:

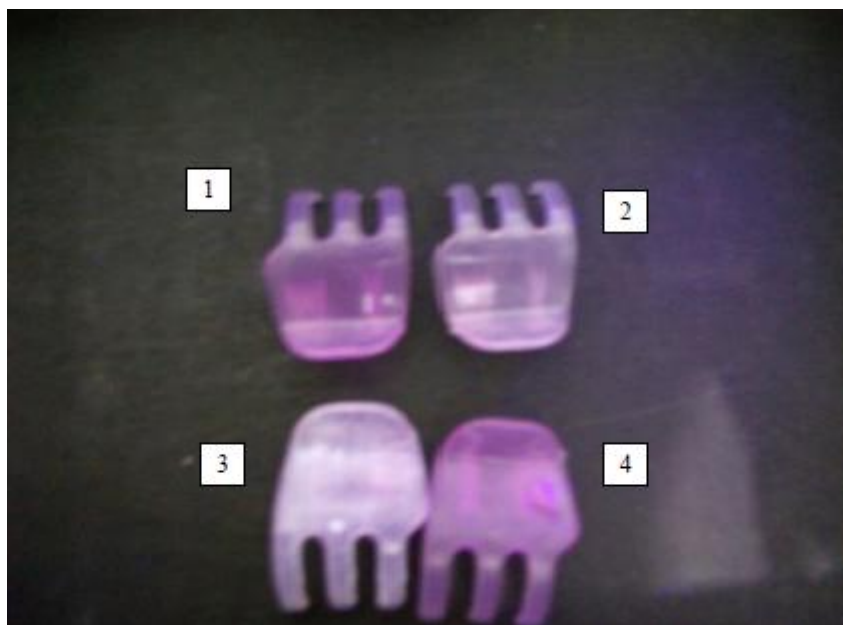
Incidindo-se a luz negra sobre as quatro peças sem a aplicação de nenhum material adicional, observou-se que o surgimento de uma coloração rosa em todas as quatro.



Após receberem a aplicação de uma fina camada dos protetores solares e do creme hidratante e serem expostas à luz negra, as peças apresentaram a cor da seguinte maneira:

- A peça n° 1 apresentou uma cor rosa;
- A peça n° 2 apresentou uma cor rosa ligeiramente mais fraca que a cor apresentada pela peça n°1;
- A peça n°3 apresentou uma coloração fraquíssima;

- Por fim, a peça n° 4 apresentou uma cor rosa com intensidade semelhante a da peça n° 1.



#### 8. Interpretação microscópica:

O prendedor de cabelos que utilizamos no experimento é um material formado por substâncias como, por exemplo, o polímero e substâncias relacionadas com o aparecimento e desaparecimento de cor. Então, consideremos as substâncias diretamente relacionadas com o fenômeno observado.

O fenômeno observado de coloração e descoloração é protagonizado por duas substâncias que coexistem em equilíbrio. Uma delas é incolor (substância A), enquanto a outra é responsável pela cor (substância B). Através de uma reação química a substância A pode ser transformada em B. Semelhantemente, a substância B pode ser transformada em A. Ambas as espécies A e B estão em equilíbrio, ou seja, a velocidade com que A é transformado em B é a mesma na qual B é transformado em A. Nesse estado de equilíbrio as concentrações das espécies permanecem constantes. Quando incidimos a radiação UV realizamos uma perturbação desse estado. Então, o sistema, para contrabalancear a perturbação, desloca o equilíbrio favorecendo a formação da substância colorida B. À medida que a reação se processa, mais substância B será formada. Paralelamente a essa reação direta, ocorre uma reação inversa, em que a substância B será convertida em A. Inicialmente, a velocidade da formação de B (reação direta) é muito maior que a velocidade da formação de A (reação inversa). Porém, com

o passar do tempo a velocidade da reação direta vai diminuindo e a velocidade da reação inversa vai aumentando até um momento em que ambas as velocidades se igualam. Nesse momento, ainda temos formação de substância B, mas na mesma velocidade em que ela é convertida em A. Então, temos um novo estado de equilíbrio em que as concentrações de A e B permanecem constantes.

Esse novo estado de equilíbrio pode ser perturbado se fornecemos calor ao sistema. Quando fornecemos calor geramos uma perturbação. Então, o sistema busca contrabalancear deslocando o equilíbrio de modo a favorecer a formação da substância incolor A. Os fenômenos observados podem ser explicados pelo princípio de Le Châtelier. Russel (1994) fornece um enunciado para esse princípio: “quando sistemas em equilíbrio são submetidos a qualquer perturbação exterior, o equilíbrio desloca-se no sentido contrário a fim de minimizar esta perturbação”(p. 686).

Uma questão interessante é como o sol favorece a mudança de coloração. O sol emite radiação eletromagnética de diferentes tipos (com comprimentos de onda diferentes). Conforme Costa e Silva (1995), os raios cósmicos, raios-x, e ultravioleta, em grande parte emitidos pelo sol, são absorvidos pela camada de ozônio. Então, quando chega à superfície da Terra, a radiação solar é composta basicamente por radiação infravermelha, visível e ultravioleta. A radiação infravermelha, o que conhecemos como calor, possui um comprimento de onda acima de 780 nm. A radiação visível é a radiação eletromagnética que se encontra na faixa de 400 a 780 nm. A luz branca é a mistura de todos os comprimentos de onda da luz visível. A radiação ultravioleta, por sua vez, engloba as radiações com comprimento de onda entre 10 e 400 nm, aproximadamente.

A radiação ultravioleta é a de maior energia que a radiação na região do visível. Essa energia elevada faz com que tal radiação seja responsável pelo bronzeamento e queimaduras em nossa pele. Assim, a radiação UV favorece a ocorrência de muitas reações químicas, dentre elas, a reação de formação da substância colorida, a qual foi observada.

Conforme apresentado por Silva (2010), pode-se classificar a radiação ultravioleta em três tipos, de acordo com a faixa de comprimentos de onda. A radiação ultravioleta mais energética é a do tipo C, UVC. Os raios UVC situam-se entre 100 e 280 nm e são normalmente absorvidos pela camada de ozônio. Os raios ultravioleta do tipo B, UVB, encontram-se entre 290 e 320 nm. Segundo o autor, os raios UVB são responsáveis pela “transformação de substâncias presentes na derme em vitamina D” (p.

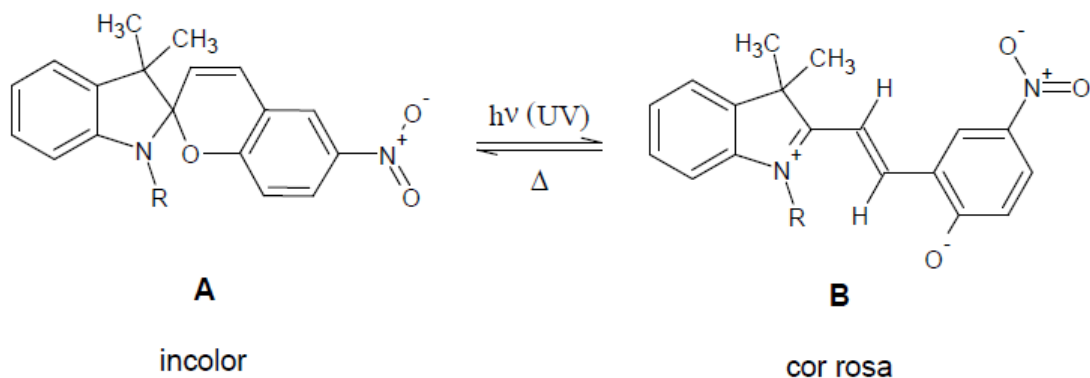
12), além de provocarem “eritemas leves, queimaduras solares, fotoenvelhecimento, lesões no DNA da célula, ou ainda suprimir a resposta imunológica da pele” (p. 12). Por fim, os raios UVA, ou seja, a radiação ultravioleta do tipo A, situam-se entre 320 e 400nm. A radiação do tipo UVA, responsável pelo bronzeamento da pele, é a menos energética das radiações UV.

No experimento realizado, utilizou-se uma lâmpada especial com a finalidade de simularmos a ação dos raios solares sobre o prendedor de cabelos. A lâmpada, conhecida popularmente como “lâmpada de luz negra”, emite radiação ultravioleta do tipo A. Essa radiação UVA é capaz de promover a excitação de elétrons para níveis de maior energia e causar o rompimento de ligações químicas. Desse modo, a radiação empregada é capaz de levar a cabo a reação de formação da substância colorida.

Outra questão é o porquê dessa substância formada após a incidência da radiação UV ser uma substância colorida. O fato de um material ser colorido está relacionado com a capacidade de alguma espécie nele presente absorver luz na região do visível. Tal espécie absorve radiação eletromagnética visível numa determinada cor, ou seja, num determinado comprimento de onda entre 400 e 780nm. Então, a cor observada será a cor complementar à cor absorvida. Em resumo, quando se incidiu a radiação UVA sobre o objeto, favoreceu-se a formação de uma substância capaz de absorver na região do visível e, portanto, que apresenta cor.

O filtro solar tem a função de bloquear a radiação UV. Por isso, as peças tratadas com protetores solares não tiveram uma coloração elevada. Já o creme hidratante não tem a propriedade de bloquear os raios UV, por isso observou-se uma forte coloração na peça tratada com esse creme.

## 9. Expressão representacional



## **10. Fechamento da aula – Resposta à pergunta inicial:**

O objeto torna-se colorido porque a radiação ultravioleta, presente na radiação solar, é muito energética e capaz de excitar elétrons, romper ligações e promover reações químicas. Ocorreu uma reação química, na qual uma nova substância foi formada. Essa nova substância é capaz de absorver radiação na região do visível, emitindo a cor complementar à cor absorvida.

## **11. Interface Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente:**

Os raios UV emitidos pelo sol são importantes devido à sua alta energia. Na pele, os raios UVB proporcionam reações químicas produzindo vitamina D. Por outro lado, uma grande exposição aos raios ultravioleta, está associada a queimaduras e ao câncer de pele.

Os aspectos nocivos da radiação UV levaram ao desenvolvimento dos filtros solares, os quais são materiais contendo substâncias capazes de bloquear ou absorver essa radiação. Quando absorvida por um filtro solar, a radiação UV é convertida em outra forma de radiação, de menor energia, por exemplo, radiação infravermelha (calor).

A utilização desses filtros em excesso pode comprometer a síntese de vitamina D. Como consequências da carência de vitamina D no organismo, pode-se mencionar o raquitismo em crianças e a osteoporose em adultos.

## **12. Referências**

COSTA, M. L.; SILVA, R. R. Ataque à pele. **Química Nova na Escola**, n. 01, p. 3-7. 1995.

RUSSELL, J. B. **Química Geral vol. 2**. 2.ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 1268p.

SILVA, S. C. F. **A inter-relação entre Química e Biologia nos protetores solares**. Brasília, 2010. 32p. Monografia de Graduação – Instituto de Química – Universidade de Brasília.